

**SINTESIS KOMPOSIT $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{CuO}$ DENGAN EKSTRAK DAUN KERSEN
(*Muntingia calabura L.*) UNTUK DEGRADASI ZAT WARNA
*CONGO RED***

SKRIPSI

**Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Memperoleh
Gelar Sarjana Bidang Studi Kimia**



Oleh :

Cingka Kurnia Rizki

08031282126026

**JURUSAN KIMIA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS SRIWIJAYA**

2025

HALAMAN PENGESAHAN

**SINTESIS KOMPOSIT $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{CuO}$ DENGAN EKSTRAK DAUN KERSEN
(*Muntingia calabura L.*) UNTUK DEGRADASI ZAT WARNA
*CONGO RED***

SKRIPSI

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Memperoleh
Gelar Sarjana Sains Bidang Studi Kimia

Oleh:

Cingka Kurnia Rizki

08031282126026

Indralaya, 19 Mei 2025

Menyetujui,

Dosen Pembimbing I



Prof. Dr. Poedji Loekitowati H., M.Si.

NIP. 196808271994022001

Dosen Pembimbing II



Dr. Muhammad Said, M.T.

NIP. 197407212001121001

Mengetahui,

Dekan FMIPA



Prof. Hermansyah, S.Si., M.Si., Ph.D.

NIP. 197111191997021001

HALAMAN PERSETUJUAN

Karya tulis ilmiah berupa skripsi Cingka Kurnia Rizki (08031282126026) dengan judul “Sintesis Komposit $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{CuO}$ dengan Ekstrak Daun Kersen (*Muntingia calabura L.*) untuk Degradasi Zat Warna *Congo Red*” telah diseminarkan di hadapan Tim Penguji Seminar Hasil Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Sriwijaya pada tanggal 20 Maret 2025 dan telah diperbaiki, diperiksa, serta disetujui sesuai masukan yang telah diberikan.

Indralaya, 19 Mei 2025

Pembimbing:

1. **Prof. Dr. Poedji Loekitowati H., M.Si.**

NIP. 196808271994022001

2. **Dr. Muhammad Said, M.T.**

NIP. 197407212001121001

()
()

Penguji:

1. **Dr. Nova Yuliasari, M.Si.**

NIP. 197307261999032001

2. **Dr. Desnelli, M.Si.**

NIP. 196912251997022001

()
()

Mengetahui,

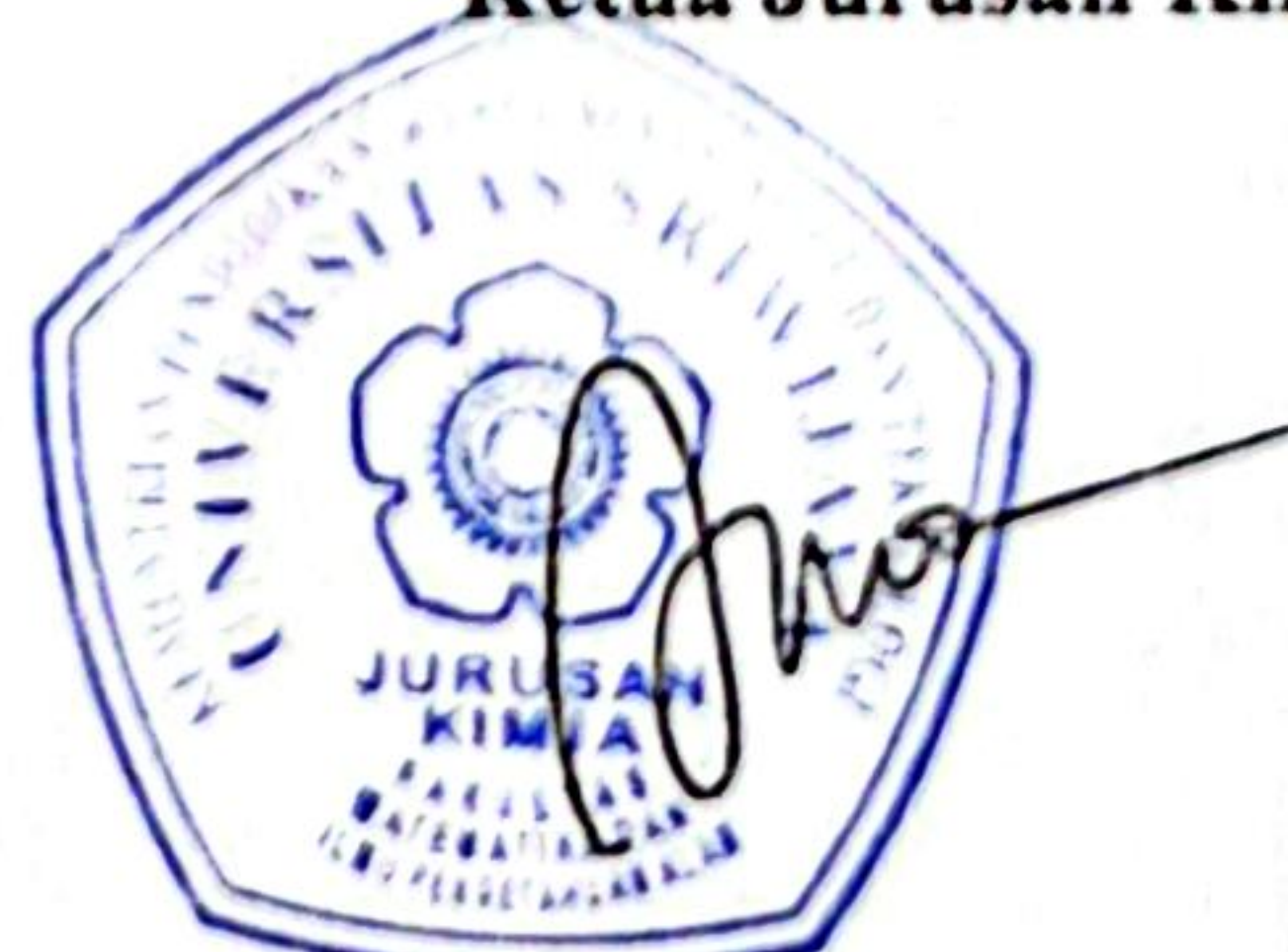
Dekan FMIPA



Prof. Hermansyah, S.Si., M.Si., Ph.D.

NIP. 197111191997021001

Ketua Jurusan Kimia



Prof. Dr. Muharni, M.Si.

NIP. 196903041994122001

PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Cingka Kurnia Rizki
NIM : 08031282126026
Fakultas/Jurusan : MIPA/Kimia
Jenis Karya : Skripsi

Menyatakan bahwa skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri dan karya ilmiah ini belum pernah diajukan sebagai pemenuhan persyaratan untuk memperoleh gelar sarjana starta (S1) dari Universitas Sriwijaya maupun perguruan tinggi lain. Semua informasi yang dimuat dalam skripsi ini yang berasal dari penulis lain baik yang dipublikasikan atau tidak telah diberikan penghargaan dengan mengutip nama sumber penulis secara benar. Semua isi dari skripsi ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab saya sebagai penulis.

Demikianlah surat pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Indralaya, 21 Mei 2025



Penulis

Cingka Kurnia Rizki
08031282126026

HALAMAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

Sebagai civitas akademika Universitas Sriwijaya, yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Cingka Kurnia Rizki
NIM : 08031282126026
Fakultas/Jurusan : MIPA/Kimia
Jenis Karya : Skripsi

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, saya menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Sriwijaya “hak bebas royalti non-eksklusif (*non-exclusively royalty-free right*) atas karya ilmiah yang berjudul: “Sintesis Komposit $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{CuO}$ dengan Ekstrak Daun Kersen (*Muntingia calabura L.*) untuk Degradasi Zat Warna *Congo Red*”. Dengan hak bebas royalti non-eksklusif ini Universitas Sriwijaya berhak menyimpan, mengalih, edit/memformatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat dan mempublikasikan tugas akhir atau skripsi saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik hak cipta.

Demikianlah surat pernyataan ini saya buat dengan sungguh-sungguh.

Indralaya, 21 Mei 2025

Penulis



Cingka Kurnia Rizki

08031282126026

HALAMAN PERSEMBAHAN

Allah memang tidak menjanjikan hidupmu selalu mudah. Tetapi, dua kali Allah berjanji bahwa: *“Sesungguhnya bersama kesulitan ada kemudahan.”*

[QS Al-Insyirah: 5-6]

“Apa yang melewatkanmu tidak akan pernah menjadi takdirku dan apa yang ditakdirkan untukku tidak akan melewatkanmu.”

[Umar Bin Khattab]

“Aku mungkin jatuh berkali-kali, tapi tak pernah berhenti bangkit. Karena aku percaya, yang mustahil hanya milik mereka yang berhenti mencoba”

Skripsi ini sebagai salah satu rasa Syukur kepada Allah SWT dan Baginda *Rasūlullāh* Muhammad SAW serta dipersembahkan untuk:

1. Ayah, Ibu dan Adik tersayang yang senantiasa mendoakan dan memberikan motivasi.
2. Dosen pembimbing tugas akhir yaitu Ibu Prof. Dr. Poedji Loekitowati Hariani, M.Si. dan dosen pembimbing akademik yaitu Bapak Dr. Muhammad Said, M.T.
3. Seluruh dosen Jurusan Kimia FMIPA Universitas Sriwijaya.
4. Sahabat-sahabatku yang selalu peduli, mendoakan dan mendukungku.
5. Rekan-rekan seperjuangan di Jurusan Kimia FMIPA Universitas Sriwijaya serta orang-orang baik yang sering menolong, mendukung dan mendoakan.
6. Semua orang yang membantu hingga terselesainya skripsi ini.

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur hanyalah milik Allah SWT, karena berkat Rahmat, pertolongan dan karunia-Nya penulis dapat menyelesaikan penulisan skripsi yang berjudul: “Sintesis Komposit $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{CuO}$ dengan Ekstrak Daun Kersen (*Muntingia calabura L.*) untuk Degradasi Zat Warna *Congo Red*”. Skripsi ini dibuat sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana sains pada Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Sriwijaya.

Penyusunan skripsi ini tidak terlepas dari berbagai tantangan yang harus penulis hadapi baik dalam proses penulisan maupun di luar persoalan skripsi. Namun dengan kesabaran serta rasa tanggung jawab serta bantuan dari berbagai pihak berupa material maupun moril, akhirnya penulis dapat menyelesaikan skripsi ini. Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Ibu Prof. Dr. Poedji Loekitowati Hariani, M.Si. dan Dr. Muhammad Said, M.T. yang telah banyak memberikan bantuan berupa bimbingan, motivasi, arahan, petunjuk dan saran sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan skripsi ini.

Penulis juga menyampaikan terima kasih kepada:

1. Bapak Prof. Hermansyah, S.Si., M.Si., Ph.D. selaku Dekan FMIPA Universitas Sriwijaya.
2. Ibu Prof. Muharni, M.Si. selaku Ketua Jurusan Kimia FMIPA Universitas Sriwijaya dan Bapak Dr. Addy Rachmat, M.Si. selaku Sekretaris Jurusan Kimia FMIPA Universitas Sriwijaya.
3. Rasa terima kasih dan penghargaan tinggi penulis haturkan kepada Ibu Prof. Dr. Poedji Loekitowati H., M.Si. selaku Dosen Pembimbing I Tugas Akhir. Terima kasih Ibu atas bimbingan dan arahnya selama penyusunan karya ilmiah ini. Perhatian, kesabaran, dan dukungan Ibu sangat berarti bagi keberhasilan studi penulis. Semoga kebaikan Ibu dibalas dengan kesehatan dan kemudahan dalam segala urusan.
4. Bapak Dr. Muhammad Said, M.T. selaku Dosen Pembimbing II Tugas Akhir sekaligus Dosen Pembimbing Akademik. Terima kasih bapak atas arahan dan masukan berharga dari awal masuk perkuliahan. Bimbingan, dukungan, dan ilmu yang Bapak bagikan sangat membantu dalam studi penulis. Semoga Bapak selalu diberikan kesehatan dan kesuksesan dalam setiap langkah.

5. Ibu Dr. Nova Yuliasari, M.Si dan Ibu Dr. Desnelli, M.Si selaku Dosen Pembahas seminar hasil dan sidang sarjana. Terima kasih yang tulus penulis sampaikan atas saran dan masukan yang berharga untuk penyempurnaan tugas akhir ini. Pertanyaan dan arahan yang diberikan telah membuka wawasan baru bagi penulis. Semoga Ibu selalu diberikan kesehatan dan keberkahan dalam menjalankan tugas mulia sebagai pendidik.
6. Kedua Orang Tua tercinta, terkasih, dan tersayang. Terima kasih selalu mengusahakan segalanya untuk penulis. Ibu, salah satu orang yang menjadi tempat keluh kesah penulis sekaligus menjadi teman curhat penulis. Ayah yang selalu memberikan dukungan dan semangatnya untuk anak kesayangannya ini. Terima kasih selalu mengusahakan anak sulungmu ini dan doa - doa hebat yang selalu kalian panjatkan, tanpa doa dari kalian Mbak bukanlah siapa-siapa. Semoga kalian selalu ada dalam lindungan Allah SWT dan selalu ada dalam setiap episode kehidupan Mbak. Mbak Cingka meminta maaf karena belum bisa memberikan yang terbaik dan berharap suatu saat nanti Ayah dan Ibu bisa bangga dengan anak sulungnya ini.
7. Kedua adik kesayangan. Terima kasih telah menjadi bagian yang begitu berarti dalam hidup. Kehadiran kalian selalu mewarnai hari-hari Mbak dan menjadi sumber semangat yang tak ternilai. Secara khusus, untuk adik perempuanku, Mbak akan selalu *support* dan bangga terhadap setiap langkah yang akan kamu pilih dalam hidup. Kalian adalah salah satu alasan Mbak mampu bertahan sejauh ini.
8. Seluruh Dosen Jurusan Kimia FMIPA Universitas Sriwijaya yang telah memberikan ilmu, mendidik dan membimbing selama masa studi penulis.
9. Kak Iin dan Mba Novi selaku Admin Jurusan Kimia yang selalu baik, ramah, sabar dan mau membantu penulis selama perkuliahan. Terimakasih banyak, semoga selalu diberikan kesehatan.
10. Amirah Syakirah Nailah dan Puan Maha Fira selaku sahabat penulis yang selalu berusaha melindungi dan mendoakan penulis. Suatu keberuntungan bisa mengenal kalian, semoga kebahagiaan selalu menyertai kalian.
11. Ni'matussholikhah dan Anora selaku manusia random yang menghibur dan menaikkan *mood* penulis.

12. Analis Geng (Dey, Puan, Adit, Bagus, Annisah, Devi, Andini, dan Sodifa). Terima kasih telah mewarnai hari-hari di laboratorium dengan canda tawa, kebersamaan dalam suka duka penelitian, dan saling menguatkan di setiap kesulitan. Perjalanan ini tak akan sama tanpa kalian. Semoga kesuksesan selalu menyertai langkah kita, dan kelak bisa berkumpul kembali dengan versi terbaik masing-masing.
13. Sasuke Musafir (Amirah, Vira, Mutiah). Terima kasih atas perjalanan dalam mengeksplorasi dunia anime, menghadiri event, sampai cosplay bersama telah menjadi kenangan berharga selama masa perkuliahan. Kalian tidak hanya teman, tapi juga penyemangat bagi penulis. Semoga komunikasi kita tetap terjaga meski jalan yang kita tempuh nantinya berbeda.
14. Bismillah S.Si (Nima, Ade, Rita). Terima kasih telah mewarnai hari-hari penulis di semester akhir yang penuh dengan hitam putih ini. Terima kasih banyak selalu mendengarkan keluh kesah penulis dan sabar menghadapi penulis yang terkadang penuh drama ini.
15. Pali Mengajar (Hari, Cenn, Irma, Selpi, Tria, Lala, Marlin, Nasywa, dan Indra). Terima kasih banyak atas pengalaman berharga selama 2 minggu di desa Sukarami. Perjalanan kita telah meninggalkan kesan mendalam yang tak terlupakan. Meski program hanya berlangsung singkat, ikatan yang terjalin di antara kita bertahan hingga kini. Kalian membuktikan bahwa kebersamaan yang bermakna tidak diukur dari lamanya waktu, tetapi dari kenangan yang diciptakan bersama.
16. Riskia, Rani, Zesika selaku teman seperjuangan penulis dari mulai praktikum perkuliahan sampai pemberkasan after sidang ini. Terima kasih banyak atas semua informasi yang telah kalian share ke penulis. Bahagia selalu ya.
17. Anggota WWD. Terima kasih telah mengisi hari-hari penulis. Secara khusus, untuk Delvina Septian dan Bimo Purbo, terima kasih senantiasa mendengarkan keluh kesah penulis serta memberikan semangat, motivasi, dan masukkan kepada penulis. Sehat dan bahagia selalu ya.
18. Anak Ramah Official (Najo, Ara, Nopi, Mochynn, Yogi, dan lainnya). Terima kasih telah bersedia menjadi *Guard* penulis dan selalu percaya kepada penulis. Semoga kebahagiaan selalu menyertai kalian.

19. Anak PA Pak Said (Aca, Adel, Azzahra, Gilang, Mira, Puan, Sabil, Savirna). Terima kasih telah membantu, mendukung dan memberikan informasi terkait perkuliahan kepada penulis dari awal mulai perkuliahan.
20. Kakak 3S (Shulis, Siska, Syirrin). Terima kasih banyak telah peduli dan berbagi pengalaman suka maupun duka kepada adikmu ini.
21. Teman-Teman Angkatan 2021. Terima kasih atas suasana asam dan basanya dalam perkuliahan penulis.
22. Terima kasih untuk semua pihak yang terlibat dalam kehidupan penulis, selalu menolong, mendukung dan mendoakan.
23. Untuk diriku sendiri, terima kasih telah bertahan di tengah tekanan layaknya sistem tertutup dalam kesetimbangan. Walau berkali-kali mengalami pergeseran, kamu tetap menemukan cara untuk kembali seimbang dan melangkah maju. Terima kasih untuk tidak menyerah.

Indralaya, 21 Mei 2025

Penulis



Cingka Kurnia Rizki

08031182126024

SUMMARY

SYNTHESIS OF Fe₃O₄/CuO COMPOSITE WITH KERSEN (*Muntingia calabura* L.) LEAF EXTRACT FOR DEGRADATION OF CONGO RED DYE

Cingka Kurnia Rizki: Supervised by Prof. Dr. Poedji Loekitowati Hariani, M.Si and Dr. Muhammad Said, M.T

Chemistry, Faculty of Mathematics and Natural Sciences, Sriwijaya University

xviii + 70 pages, 4 tables, 21 figures, 15 attachments.

Congo red dye is the azo dyes derived from textile industry wastewater. Congo red dye is toxic and carcinogenic so it will have a bad impact on the environment and if accumulated in the body can cause problems in the organs. Therefore, it is necessary to reduce the dye before it is discharged into the environment. One method that can be used is photodegradation of congo red dyes using semiconductor photocatalysts in order to decompose organic compounds so that clear and harmless waste is produced. In this research, the Fe₃O₄/CuO composite was synthesized with the addition of kersen leaf extract as a capping agent using the green synthesis method used for degradation of congo red dye with variables of pH, concentration, and contact time. The composite is composed of Fe₃O₄ as magnetic and doping with CuO as catalyst. The synthesized Fe₃O₄/CuO was characterized using XRD, SEM-EDS, VSM and UV-Vis DRS.

Characterization results using XRD obtained the highest peak of Fe₃O₄/CuO at angle $2\theta = 35.56^\circ$ with a crystal size of 42.47 nm. SEM-EDS characterization results showed heterogeneous Fe₃O₄/CuO morphology with constituent elements in the form of O (26.06%), Fe (34.55%) and Cu (39.40%). VSM results from the hysteresis curve show a saturation magnetization value of 66.67 emu/g which indicates that this composite is superparamagnetic. The band gap value of UV-Vis DRS characterization results is 1.96 eV. pH_{Hpzc} of Fe₃O₄/CuO composite is at pH 6.64. The best condition of congo red concentration reduction by Fe₃O₄/CuO is at pH 5, congo red concentration of 20 ppm and irradiation time for 100 minutes with the effectiveness of concentration reduction of 96.61%. The rate constant (R^2) of congo red dye using Fe₃O₄/CuO was found of 0.0125 menit⁻¹ with a coefficient determination of 0.9443.

Keywords : Fe₃O₄/CuO composite, kersen leaf, photodegradation, congo red.

Citation : 55 (2004-2025)

RINGKASAN

SINTESIS KOMPOSIT $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{CuO}$ DENGAN EKSTRAK DAUN KERSEN (*Muntingia calabura L.*) UNTUK DEGRADASI ZAT WARNA *CONGO RED*

Cingka Kurnia Rizki: Dibimbing oleh Prof. Dr. Poedji Loekitowati Hariani, M.Si dan Dr. Muhammad Said, M.T.

Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Sriwijaya
xviii + 70 halaman, 4 tabel, 21 gambar, 15 lampiran.

Zat warna *congo red* merupakan salah satu zat warna azo yang berasal dari limbah cair industri tekstil. Zat warna *congo red* bersifat toksik dan karsinogenik sehingga akan berdampak buruk bagi lingkungan dan jika terakumulasi dalam tubuh dapat menyebabkan timbulnya masalah pada organ tubuh. Oleh karena itu, perlu dilakukan upaya pengurangan zat warna sebelum dibuang ke lingkungan. Salah satu metode yang dapat digunakan yaitu fotodegradasi zat warna *congo red* menggunakan fotokatalis semikonduktor agar dapat menguraikan senyawa organik sehingga dihasilkan limbah yang jernih dan tidak berbahaya bagi lingkungan. Penelitian ini dilakukan sintesis komposit $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{CuO}$ dengan penambahan ekstrak daun kersen sebagai *capping agent* menggunakan metode *green synthesis* yang digunakan untuk degradasi zat warna *congo red* dengan variabel pH, konsentrasi, dan waktu kontak. Komposit tersusun dari Fe_3O_4 sebagai bahan magnetik dan *doping* dengan CuO sebagai katalis. Hasil sintesis $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{CuO}$ dikarakterisasi menggunakan XRD, SEM-EDS, VSM dan UV-Vis DRS.

Hasil karakterisasi menggunakan XRD didapatkan puncak tertinggi $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{CuO}$ pada sudut $2\theta = 35,56^\circ$ dengan ukuran kristal 42,47 nm. Hasil karakterisasi SEM-EDS menunjukkan morfologi $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{CuO}$ yang heterogen dengan unsur penyusun berupa O (26,06%), Fe (34,55%) dan Cu (39,40%). Hasil VSM dari kurva histerisis menunjukkan nilai magnetisasi saturasi sebesar 66,67 emu/g yang menandakan komposit ini bersifat superparamagnetik. Nilai *band gap* hasil karakterisasi UV-Vis DRS sebesar 1,96 eV. pH_{PZC} dari komposit $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{CuO}$ terdapat pada pH 6,64. Kondisi terbaik penurunan konsentrasi *congo red* oleh $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{CuO}$ berada pada pH 5, konsentrasi *congo red* 20 ppm dan waktu penyinaran selama 100 menit dengan efektivitas penurunan konsentrasi sebesar 96,61%. Konstanta laju (R^2) zat warna *congo red* menggunakan $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{CuO}$ didapatkan sebesar $0,0125 \text{ menit}^{-1}$ dengan nilai koefisien determinasi sebesar 0,9443.

Kata kunci : komposit $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{CuO}$, daun kersen, fotodegradasi, *congo red*.

Kutipan : 55 (2004-2025)

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN.....	ii
HALAMAN PERSETUJUAN	iii
PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH.....	iv
HALAMAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS	v
HALAMAN PERSEMBAHAN	vi
KATA PENGANTAR.....	vii
SUMMARY	xi
RINGKASAN	xii
DAFTAR ISI.....	xiii
DAFTAR GAMBAR.....	xvii
DAFTAR LAMPIRAN	xviii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Manfaat Penelitian	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Zat Warna Azo Congo Red.....	5
2.2 Senyawa Magnetik (Fe_3O_4)	6
2.3 Tembaga Oksida (CuO)	6
2.4 Daun Kersen (<i>Muntingia calabura L.</i>)	7
2.5 Metode <i>Green Synthesis</i>	8
2.6 Fotokatalisis	9
2.7 Karakterisasi Material.....	11
2.7.1 <i>X-Ray Diffraction (XRD)</i>	11
2.7.2 <i>Scanning Electron Microscope-Energy Dispersive Spectroscopy (SEM-EDS)</i>	12
2.7.3 <i>Vibrating Sample Magnetometer (VSM)</i>	13
2.7.4 <i>Ultraviolet-Visible Diffuse Reflectance Spectroscopy (UV-VIS DRS)</i>	14
2.8 <i>pH Point of Zero Charge (pHpzc)</i>	15

BAB III METODOLOGI PENELITIAN	17
3.1 Waktu dan Tempat.....	17
3.2 Alat dan Bahan.....	17
3.2.1 Alat	17
3.2.2 Bahan.....	17
3.3 Prosedur Percobaan.....	18
3.3.1 Preparasi Sampel	18
3.3.2 Pembuatan Ekstrak Daun Kersen	18
3.4 Analisa Kualitatif Kandungan Daun Kersen	18
3.4.1 Uji Alkaloid.....	18
3.4.2 Uji Flavonoid.....	18
3.4.3 Uji Polifenol	18
3.4.4 Uji Saponin.....	19
3.4.5 Uji Triterpenoid dan Steroid.....	19
3.4.6 Uji Tanin.....	19
3.5 <i>Green Synthesis</i> Material	19
3.5.1 <i>Green Synthesis</i> Fe ₃ O ₄	19
3.5.2 <i>Green Synthesis</i> Fe ₃ O ₄ /CuO	19
3.6 Karakterisasi Material	20
3.6.1 <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD)	20
3.6.3 <i>Vibrating Sample Magnometer</i> (VSM)	20
3.6.4 <i>UV-VIS Diffuse Reflectance Spectroscopy</i> (UV-VIS DRS) ...	21
3.7 Penentuan Konsentrasi Zat Warna <i>Congo red</i>	21
3.7.1 Pembuatan Larutan Induk <i>Congo red</i> 1000 ppm	21
3.7.2 Pembuatan Larutan Standar <i>Congo red</i>	21
3.7.3 Penentuan Panjang Gelombang Zat Warna <i>Congo red</i>	22
3.7.4 Penentuan Kurva Kalibrasi Zat Warna <i>Congo red</i>	22
3.8 Penentuan Besar Optimum Degradasi Zat Warna <i>Congo Red</i>	22
3.8.1 Pengaruh pH	22
3.8.2 Pengaruh Konsentrasi Zat Warna.....	22
3.8.3 Pengaruh Waktu Kontak	23

3.9 Perbandingan Penurunan Zat Warna <i>Congo red</i> Secara Fotolisis, Adsorpsi dan Fotokatalisis	23
3.10 Analisis Data	23
3.10.1 Karakterisasi Material (Nada <i>et al.</i> , 2022)	23
3.10.2 Penentuan Efisiensi Degradasi	24
3.10.3 Penentuan Kinetika Degradasi	24
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	25
4.1 Analisa Kualitatif Ekstrak Daun Kersen	25
4.2 Hasil <i>Green Synthesis</i> Material Fe ₃ O ₄ dan Fe ₃ O ₄ /CuO	27
4.2.1 <i>Green Synthesis</i> Fe ₃ O ₄	27
4.2.2 <i>Green Synthesis</i> Fe ₃ O ₄ /CuO	28
4.3 Hasil Karakterisasi Material Fe ₃ O ₄ dan Fe ₃ O ₄ /CuO	28
4.3.1 <i>Vibrating Sample Magnetometer</i> (VSM)	28
4.3.2 <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD)	29
4.3.3 <i>Scanning Electron Microscope-Energy Dispersive Spectroscopy</i> (SEM-EDS)	31
4.3.4 <i>Ultraviolet-Visible Diffuse Reflectance Spectroscopy</i>	33
4.4 Nilai pH Point Zero Charge (pH _{pzc}) Komposit Fe ₃ O ₄ /CuO	34
4.5 Penentuan Kondisi Optimum Degradasi Zat Warna <i>Congo Red</i>	34
4.5.1 Pengaruh pH	34
4.5.2 Pengaruh Konsentrasi	35
4.5.3 Pengaruh Waktu Kontak	37
4.5.4 Perbandingan Penurunan Zat Warna <i>Congo Red</i> Secara Fotolisis, Adsorpsi dan Fotokatalisis	37
4.5.5 Penentuan Kinetika Degradasi Zat Warna <i>Congo Red</i> Menggunakan Komposit Fe ₃ O ₄ /CuO	39
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	41
5.1 Kesimpulan	41
5.2 Saran	41
DAFTAR PUSTAKA	42
LAMPIRAN	47

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.	Struktur zat warna <i>congo red</i>	5
Gambar 2.	Daun kersen	7
Gambar 3.	Reaksi <i>green synthesis</i> CuO	9
Gambar 4.	Mekanisme reaksi degradasi <i>congo red</i>	10
Gambar 5.	Pola difraksi Fe ₃ O ₄ , CuO dan Fe ₃ O ₄ /CuO.....	12
Gambar 6.	Hasil SEM Fe ₃ O ₄	13
Gambar 7.	Hasil SEM Fe ₃ O ₄ /CuO	13
Gambar 8.	Hasil VSM Fe ₃ O ₄	14
Gambar 9.	Hasil UV-Vis DRS Fe ₃ O ₄ , CuO, dan Fe ₃ O ₄ /CuO.	15
Gambar 10.	Hasil <i>green synthesis</i> Fe ₃ O ₄ diuji magnet eksternal.....	28
Gambar 11.	Hasil <i>green synthesis</i> Fe ₃ O ₄ /CuO diuji magnet eksternal.....	28
Gambar 12.	Kurva histeresis dari Fe ₃ O ₄ dan Fe ₃ O ₄ /CuO.....	29
Gambar 13.	Difraktogram Fe ₃ O ₄ dan Fe ₃ O ₄ /CuO.....	30
Gambar 14.	Hasil SEM Fe ₃ O ₄ dan Fe ₃ O ₄ /CuO	31
Gambar 15.	Nilai <i>band gap</i> dari Fe ₃ O ₄ dan Fe ₃ O ₄ /CuO.....	33
Gambar 16.	Kurva pH _{pzc} Fe ₃ O ₄ /CuO.....	34
Gambar 17.	Pengaruh pH terhadap degradasi zat warna <i>congo red</i>	35
Gambar 18.	Pengaruh konsentrasi terhadap degradasi zat warna <i>congo red</i>	36
Gambar 19.	Pengaruh waktu kontak terhadap degradasi zat warna <i>congo red</i> ...	37
Gambar 20.	Perbandingan degradasi zat warna <i>congo red</i> secara fotolisis, adsorpsi dan fotokatalisis	38
Gambar 21.	Kurva laju degradasi zat warna <i>congo red</i> kondisi waktu kontak dengan penambahan komposit	39

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Pola XRD dari puncak difraksi $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{CuO}$	11
Tabel 2. Senyawa yang terkandung pada ekstrak daun kersen.	25
Tabel 3. Sudut 2θ berdasarkan JCPDS dan ukuran kristal	30
Tabel 4. Elemen penyusun Fe_3O_4 dan $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{CuO}$	32

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1.	Diagram Alir Prosedur.....	48
Lampiran 2.	Reaksi Pembentukan.....	51
Lampiran 3.	Hasil Karakterisasi XRD Fe_3O_4 dan $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{CuO}$	52
Lampiran 4.	Hasil Karakterisasi SEM-EDS Fe_3O_4 dan $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{CuO}$	56
Lampiran 5.	Hasil Karakterisasi VSM Fe_3O_4 dan $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{CuO}$	58
Lampiran 6.	Hasil Karakterisasi Uv-Vis DRS Fe_3O_4 dan $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{CuO}$	59
Lampiran 7.	Penentuan pH _{pzc} Komposit $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{CuO}$	59
Lampiran 8.	Penentuan Panjang Gelombang <i>Congo Red</i>	60
Lampiran 9.	Penentuan Kurva Kalibrasi <i>Congo Red</i>	61
Lampiran 10.	Penentuan Kondisi Optimum Degradasi <i>Congo Red</i> dengan Variasi pH Menggunakan Komposit $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{CuO}$	62
Lampiran 11.	Penentuan Kondisi Optimum Degradasi <i>Congo Red</i> dengan Variasi Konsentrasi Menggunakan Komposit $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{CuO}$	63
Lampiran 12.	Penentuan Kondisi Optimum Degradasi <i>Congo Red</i> dengan Variasi Waktu Kontak Menggunakan Komposit $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{CuO}$	64
Lampiran 13.	Perbandingan Degradasi <i>Congo Red</i> Fotolisis, Adsorpsi dan Fotokatalisis Menggunakan Komposit $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{CuO}$	65
Lampiran 14.	Penentuan Kinetika Degradasi Zat Warna <i>Congo Red</i> Menggunakan Komposit $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{CuO}$	68
Lampiran 15.	Gambar Penelitian.....	69

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Keberadaan zat warna dalam perairan dapat menghalangi sinar matahari menembus lingkungan akuatik, sehingga kurangnya kandungan oksigen yang terlarut di dalam perairan. Zat warna ini umumnya berasal dari limbah cair industri tekstil. Karakteristik zat warna ini berupa senyawa organik bersifat *non-biodegradable*. Apabila limbah cair tidak dilakukan pengelolaan lalu dibuang ke perairan dapat menyebabkan pencemaran lingkungan terhadap perairan (Hardian *et al.*, 2022).

Congo red, sunset yellow, metilen biru, metilen violet, tartrazi, dan allura red merupakan beberapa zat warna yang sering digunakan di sektor industri (Baunsele dan Missa, 2020). Zat warna congo red yang bersifat toksik dapat menyebabkan kerusakan lingkungan jika berada dalam perairan, dan dapat menyebabkan gangguan pada organ tubuh, seperti kulit, hati, ginjal, dan syaraf jika terakumulasi dalam tubuh (Saraswati dkk, 2015). Sifat karsinogenik zat warna congo red disebabkan oleh adanya asam amino aromatik sehingga sulit terdekomposisi secara alami dan memberikan stabilitas optik, termal, dan fisik. Oleh karena itu, diperlukan metode penanganan limbah.

Beberapa metode untuk penanganan limbah yang mengandung zat warna diantaranya, koagulasi atau flokulasi, membran penukar kation, elektrokimia, dan adsorpsi. Akan tetapi, metode-metode tersebut masih kurang efektif dalam menghilangkan zat warna karena biaya operasional tinggi, selektivitas terhadap zat warna tertentu, dan cenderung masih memerlukan penanganan lebih lanjut (Harja *et al.*, 2020). Sebagai alternatif dari metode-metode tersebut, maka dikembangkan metode fotodegradasi dengan menggunakan radiasi sinar UV-Vis dan material semikonduktor (Ernawati dkk, 2020).

Fe_3O_4 memiliki stabilitas kimia yang baik dan sifat magnetik yang kuat dengan nilai *band gap* rendah sekitar 1,02 hingga 2,69 eV, sehingga mampu meningkatkan absorpsi pada spektrum cahaya tampak. Namun, Fe_3O_4 menghadapi masalah oksidasi permukaan dimana Fe^{2+} berubah menjadi Fe^{3+} , yang menyebabkan penurunan aktivitas fotokatalitik dan efektivitas degradasi

(Ramadhannur dkk, 2021). Untuk mengatasi keterbatasan ini, dikembangkan kombinasi dengan material semikonduktor seperti CuO.

Menurut Sudha *et al.* (2021), CuO merupakan salah satu material semikonduktor dengan aktivitas fotokatalitik yang tinggi dalam mendegradasi limbah yang mengandung zat warna. Meskipun demikian, penggunaan CuO sebagai fotokatalis juga memiliki keterbatasan karena adanya rekombinasi elektron-*hole*. Rekombinasi elektron-*hole* adalah proses dimana elektron bebas pada pita konduksi berinteraksi dengan *hole* (lubang positif yang ditinggalkan oleh elektron yang tereksitasi). Ketika energi foton memiliki nilai ($h\nu$) yang sama atau lebih besar dari energi *band gap*, elektron pada pita valensi akan tereksitasi menuju pita konduksi dan menghasilkan lubang positif pada pita valensi (Maulana dkk, 2023). Kombinasi Fe₃O₄ dan CuO ini dapat berperan dalam mengurangi laju rekombinasi elektron-*hole* selama proses degradasi, meningkatkan pemisahan muatan, dan mengoptimalkan interaksi dengan cahaya tampak sehingga menghasilkan efisiensi degradasi zat warna yang lebih tinggi (Liao *et al.*, 2020). Selain itu, sifat magnetik dari Fe₃O₄ memungkinkan pemisahan dan penggunaan kembali fotokatalis setelah proses degradasi.

Proses sintesis magnetik Fe₃O₄ dan CuO dapat menggunakan berbagai metode seperti hidrotermal, solvothermal, elektrotermal, dan kopresipitasi. Akan tetapi, metode-metode tersebut umumnya menggunakan bahan-bahan kimia yang berpotensi menghasilkan zat beracun selama proses sintesis, sehingga bersifat tidak ramah lingkungan (Ruíz-Baltazar *et al.*, 2019). Sintesis Fe₃O₄ dan CuO pada penelitian ini menggunakan *green synthesis*, yaitu suatu cara untuk menghasilkan partikel metode yang ramah lingkungan. *Green synthesis* ini berbeda dengan sintesis kimia konvensional karena menggunakan bahan-bahan alami seperti mikroba, tanaman, alga, ragi, bakteri, dan jamur yang mengandung agen fitokimia. Salah satu tanaman yang cocok untuk *green synthesis* partikel yaitu daun kersen (*Muntingia calabauura L.*).

Daun kersen dipilih karena banyak mengandung flavonoid yang memiliki aktivitas sitotoksik (Sukmawati dkk, 2020). Selain itu, ekstrak daun kersen mengandung alkaloid, polifenol, tanin, dan saponin yang dapat berperan sebagai

reduktor, *capping agent*, atau pengatur ukuran selama sintesis partikel Fe_3O_4 dan CuO agar tidak terjadinya rekombinasi (Selvanathan *et al.*, 2021).

Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini difokuskan pada sintesis komposit $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{CuO}$ menggunakan ekstrak daun kersen. Komposit hasil sintesis ini dikarakterisasi menggunakan XRD untuk melihat struktur kristal, kekuatan puncak dan sudut difraksi. Sifat magnetik Fe_3O_4 dan $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{CuO}$ dapat dianalisis menggunakan VSM. Untuk menentukan panjang gelombang dan nilai energi *band gap* menggunakan UV-Vis DRS. Selanjutnya digunakan SEM-EDS untuk menganalisa bentuk dan susunan kimia $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{CuO}$. Kemudian, menentukan kondisi optimum dalam proses degradasi zat warna *congo red* menggunakan komposit $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{CuO}$ dengan variabel pH, konsentrasi dan waktu kontak.

1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana kandungan senyawa kimia secara kualitatif dalam ekstrak daun kersen?
2. Bagaimana keberhasilan sintesis komposit $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{CuO}$?
3. Bagaimana kemampuan komposit $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{CuO}$ dalam mendegradasi zat warna *congo red* dengan variabel pH, konsentrasi dan waktu kontak?
4. Bagaimana kinetika degradasi zat warna *congo red* menggunakan komposit $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{CuO}$?

1.3 Tujuan Penelitian

1. Menentukan kandungan senyawa kimia dalam ekstrak daun kersen secara kualitatif.
2. Mensintesis komposit $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{CuO}$ menggunakan ekstrak daun kersen dan melakukan karakterisasi dengan menggunakan XRD, VSM, UV-Vis DRS dan SEM-EDS.
3. Menentukan kemampuan komposit $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{CuO}$ dalam mendegradasi zat warna *congo red* dengan variabel pH, konsentrasi dan waktu kontak.
4. Menentukan kinetika degradasi zat warna *congo red* menggunakan komposit $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{CuO}$.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini untuk mempelajari proses *green synthesis* komposit $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{CuO}$ menggunakan ekstrak daun kersen (*Muntingia calabura L.*). Selain itu, diharapkan hasil yang diperoleh dari penelitian ini dapat digunakan untuk menyelesaikan permasalahan limbah zat warna *congo red* sehingga tidak menimbulkan dampak membahayakan bagi lingkungan sekitar.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah. M. dan Khairurrijal. 2009. Karakterisasi Nanomaterial. *Jurnal Nanosains & Nanoteknologi*. 2(1): 1-9.
- Al-Maliky. E. A., Gzar. H. A. and Al-Azawy. M. G. 2021. Determination of Point of Zero Charge (PZC) of Concrete Particles Adsorbents. *Materials Science and Engineering*. 1-8.
- Anisa, N. dan Najib, S. Z. 2022. Skrining Fitokimia dan Penetapan Kadar Total Fenol Flavonoid dan Tanin pada Daun Kersen (*Muntingia calabura L.*). *Indonesian Journal Pharmaceutical And Herbal Medicine*. 1(2): 96-104.
- Atmono, T. M., Prasetyowati, R. dan Kartika, A. M. R. 2015. Pembuatan Prototipe Vibrating Sample Magnetometer untuk Pengamatan Sifat Magnetik Lapisan Tipis. *Prosiding Pertemuan dan Presentasi Ilmiah*, 57- 66.
- Baunsele, A. B dan Missa, H. 2020. Kajian Kinetika Adsorpsi Metilen Biru Menggunakan Adsorben Sabut Kelapa. *Akta Kimindo*. 5(2): 78 – 79.
- Benabbas, K., Zabat, N. and Hocini, I. 2020. Facile Synthesis of Fe₃O₄/CuO a Core-Shell Heterostructure for Enhancemen Photocatalytic Activity Under Visible Light Irradiation. *Environmental Science and Pollution Research*, 1-13.
- Calderon, C. L. L., Tancredi P., Francois, N. J. and Pampillo, L. G. 2025. Synergistic Effects in Magnetically Recoverable Nanocomposites of CuO Nanoleaves with Fe₃O₄ Nanoparticles for Organic Dye Degradation. *Next Materials*, 7: 1-9.
- Chang, R. 2004. *Kimia Dasar Konsep-Konsep Inti Edisi Ketiga Jilid 1*. Jakarta: Erlangga.
- Chiu, Y. H., Chang, T. F. M., Chen, C. Y., Sone, M. and Hsu, Y. J. 2019. Mechanistic Insights into Photodegradation of Organic Dyes Using Heterostructure Photocatalysts. *Catalysts*, 9(5): 1-32.
- Devi, L. G., Kumar, S. G., & Reddy, K. M. 2009. Photo Fenton Like Process Fe³⁺/(NH₄)₂S₂O₈/UV for Degradation of Diazo Dye Congo Red Using Low Iron Concentration. *Central European Journal of Chemistry*, 7(3): 468–477.
- Dewi, S. H. dan Ridwan. 2012. Sintesis dan Karakterisasi Nanopartikel Fe₃O₄ Magnetik untuk Adsorpsi Kromium Heksavalen. *Jurnal Sains Materi Indonesia*, 13(2) : 136-140.
- Diantariani, N. P., Suprihatin, I. E., & Widihati, I. A. G. 2016. Fotodegradasi Zat Warna Tekstil Methylene Blue Dan Congo Red Menggunakan Komposit ZnO-AA dan Sinar UV. *Jurnal Kimia*, 10(1): 133-140.

- Dihom, H. R., Al-Shaibani, M. M., Radin Mohamed, R. M. S., Al-Gheethi, A. A., Sharma, A., & Khamidun, M. H. Bin. 2022. Photocatalytic Degradation of Disperse Azo Dyes in Textile Wastewater Using Green Zinc Oxide Nanoparticles Synthesized in Plant Extract: A Critical Review. *Journal of Water Process Engineering*, 47: 5.
- Dwivedi, P., Malik, A., Hussain, Z. F., Jatrana, I., Imtiyaz, K., Rizvi, M. M. A., Mushtaque, M., Khana, A., Alam, M. and Rafatullah, M. 2024. Eco-Friendly Fe₃O₄/CuO Nanocomposite Synthesis, Characterization, And Cytotoxicity Study. *Heliyon*, 10: 1-10.
- Ernawati, L., Wahyuono, R. A., Maharsih, I. K., Yusiarta, A. W., Laksono, Kartikawarto dan Nandiyanto, A. B. 2020. Fotodegradasi Zat Pewarna Tekstil (Rhodamin B) Menggunakan Adsorben Berbasis Material Komposit Kalsium Titanate (CaTiO₃). *Jurnal Teknik Kimia*, 14(2) : 32-39.
- Erwanto, Yulinda, dan Nabela, Q. 2020. Pengaruh Penambahan Ion Nitrat (NO³⁻) Terhadap Kinetika Fotodegradasi Zat Warna Metilen Biru Menggunakan Zeolit-TiO₂. *Inovasi Teknik Kimia*, 5(2): 59-67.
- Gebreslassie, G., Bharali, P., Chandra, U., Sergawie, A., Baruah, P. K., Das, M. R., & Alemayehu, E. 2019. Hydrothermal Synthesis of g-C₃N₄/NiFe₂O₄ Nanocomposite and Its Enhanced Photocatalytic Activity. *Applied Organometallic Chemistry*, 33(8), 1-12.
- Hamad, M. T. M. H. and Saied, M. S. S. 2021. Kinetic Studies of Congo Red Dye Adsorption by Immobilized *Aspergillus Niger* on Alginate. *Applied Water Science*, 11(2): 1-12.
- Hardian, A., Devikha, Budiman, S., Yuliana, T., Sujono, H. and Syarif, D. G. 2021. Synthesis TiO₂-NiFe₂O₄ Nanocomposites Using Coprecipitation Method as Photocatalyst for Methylene Blue Removal. *International Seminar on Mineral and Coal Technology*, 882: 1-9.
- Hariani, P, L., Muhammad, F., Ridwan., Marsi., dan Dedi, S. 2013. Synthetis and Properties of Fe₃O₄ Nanoparticles by Coprecipitation Method for Removing Procion Dyes. *International Journal of Environmental and Development Sciences*, 4(3): 336-340.
- Harja, M., Buema, G., & Bucur, D. 2022. Recent Advances in Removal of Congo Red Dye by Adsorption Using an Industrial Waste. *Scientific Reports*, 12(1): 1-18.
- Hasan, G. G., Mohammed, H. A., Althamthami, M., Khelef, A., Laouini, S. E. and Meneceur, S. 2023. Synergistic Effect of Novel Biosynthesis SnO₂@Fe₃O₄ Nanocomposite: A Comprehensive Study of Its Photocatalytic of Dyes &

- Antibiotics, Antibacterial, and Antimutagenic Activities. *Journal of Photochemistry & Photobiology, A: Chemistry*, 443: 1-11.
- Khalid, N. R., Majid, A., Tahir, M. B., Niaz, N. A., & Khalid, S. 2017. Carbonaceous-TiO₂ Nanomaterials for Photocatalytic Degradation Pollutants: A Review. *Ceramics International*, 43(17): 14552–14571.
- Khaira, R., Ulinas, A., Azhar, M., & Mawardi. 2020. Sintesis Nanopartikel Magnetik Besi Oksida (Fe₃O₄) Menggunakan Ekstrak Daun Sirih Merah (Piper Crocatum) Sebagai Agen Pelindung (Capping Agent). *Jurnal Kimia*, 9(2): 42-46.
- Li, Z., Chen, X., Wang, M, Zhang, X., Liao, L., Fang, T. and Li, B. 2021. Photocatalytic Degradation of Congo Red by Using the Cu₂O/Fe₂O₃ Composite Catalyst. *Desalination and Water Treatment*, 215: 222–231.
- Liao, H., Fan, Y., Lin Y., Wang, K., Li, R., Chen, X., Zhang, K. H. L. and Yang. 2020. Quantized Auger Recombination of Polaronic Self-trapped Excitons in Bulk Iron Oxide. *Chemical Physics*. 1-26.
- Lubis, K. 2015. Metoda-Metoda Karakterisasi Nanopartikel Perak. *Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat*, 21(79): 50–55.
- Maulana, M. S., Riyani, K. dan Setyaningtyas, T. 2023. Sintesis dan Karaterisasi CuO/rGO. *Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia*. 1-6.
- Mustaghfiri, M. A. and Munasir. 2023. Green Synthesis of TiO₂ Nanoparticles: Dye-Sensitized Solar Cells (DSSC) Applications : A Review. *Jurnal Inovasi Fisika Indonesia*, 12(2): 10–29.
- Nada, E.A., El-Maghrabi, H.H., Raynaud, P., Ali, H.R., Abd El-Wahab, S., Sabry, D.Y., Moustafa, Y.M., and Nada, A.A. 2022. Enhanced Photocatalytic Activity of WS₂/TiO₂ Nanofibers for Degradation of Phenol Under Visible Light Irradiation. *Artikel Inorganics*, 10 (54): 1-13.
- Negash, A., Derseh, L. M., Tedla, A. and Yassin, J. M. 2024. Eco-friendly Synthesis of CuO/Bi₂O₃ Nanocomposite for Efficient Photocatalytic Degradation of Rhodamine B Dye. *Scientific Reports*, 14: 1-15.
- Pratama, R., Hardeli, & Yerimadesi. 2012. Penentuan Kondisi Optimum Proses Degradasi Zat Warna Methylene Blue pada Reaktor Fotodegradasi TiO₂-PEG. *Chemistry*, 1(2): 52-58.
- Pradipta, A. R., Enriyani, R., Rahmatia, L., and Utami, A. 2021. Sintesis Komposit Fe₃O₄/TiO₂ Sebagai Fotokatalis yang Dapat Diambil Kembali Dalam Fotoreduksi Limbah Ion Perak(I). *Warta Akab*, 44(2): 32-39.

- Prasetyowati, R., Widiawati, D., Swastika, P. E. dan Warsono, A. 2021. Sintesis dan Karakterisasi Nanopartikel Magnetik (Fe_3O_4) Berbasis Pasir Besi Pantai Glagah Kulon Progo dengan Metode Kopresipitasi pada Berbagai Variasi Konsentrasi NH_4OH . *Jurnal Sains Dasar*, 10(2): 57-61.
- Puspitarum, D. L., Safitri, G., Ardiyanti, H., & Anrokhi, M. S. 2019. Karakterisasi dan Sifat Kemagnetan Pasir Besi di Wilayah Lampung Tengah. *Jurnal Pendidikan Fisika*, 7(2): 236-243.
- Putri, S. A. Amanah, I. N., Susilawati, J. dan Fabiani, V. A 2021. Degradasi Zat Warna Rhodamin-B Menggunakan Green Fotokatalis Seng Ferit (ZnFe_2O_4) - Ekstrak Daun Pucuk Idat (*Cratoxylum Glaucum*). *Fullerene Journal of Chem*, 6(2): 135-142.
- Ruíz-Baltazar, Á. J., Reyes-López, S. Y., Mondragón-Sánchez, M. de L., Robles-Cortés, A. I., & Pérez, R. 2019. Eco-Friendly Synthesis of Fe_3O_4 Nanoparticles: Evaluation of Their Catalytic Activity in Methylene Blue Degradation by Kinetic Adsorption Models. *Results in Physics*, 12: 989–995.
- Safitri, B., Hariani, P. L. dan Kusumawati, H. N. 2024. Various Adsorbents for Removal of Congo red Dye: A Review. *Analytical and Environmental Chemistry*, 9(11): 1- 12.
- Said, M., Rizkia, W. T., Asri, W. R., Desnelli, D., Rachmat, A. and Hariani, P. L. 2022. $\text{SnO}_2\text{-Fe}_3\text{O}_4$ Nanocomposites for the Photodegradation of the Congo Red dye. *Heliyon*, 8: 1- 8.
- Saraswati, I., Diantariani, N., & Suarya, P. 2015. Fotodegradasi Zat Warna Tekstil Congo Red dengan Fotokatalis ZnO -Arang Aktif dan Sinar Ultraviolet (UV). *Jurnal Kimia*, 9(2): 175–182.
- Sari, T. A., Safitri, G., Hamdi. dan Mufit, F. 2014. Identifikasi Mineral Magnetik Pada Guano di Gua Bau-Bau Kalimantan Timur Menggunakan Scanning Electron Microscope (SEM). *Pillar of Physics*, 1: 97-104.
- Sari, F. I. P. 2017. Sintesis, Karakterisasi Nanopartikel Magnetik, Mg/AlNO_3 -Hirotsalut dan Komposit Magnetik-Hidrotalsit. *Jurnal Kimia Valensi: Jurnal Penelitian dan Pengembangan Ilmu Kimia*. 3(1): 44-49.
- Sayaya, S. M., Abdulfatah and Yusuf, S. A. 2023. Photocatalytic Degradation of Congo Red Over 1% CuO-ZnO Composite Catalyst. *International Journal of Novel Research in Physics Chemistry & Mathematics*, 10(2): 18-31.
- Selvanathan, V., Aminuzzaman M., Tey, L. H., Razali, S. A., Althubeiti, K., Alkhamash, H. I., Guha, S. K., Ogawa, S., Watanabe, A., Shahiduzzaman, and Akhtaruzzaman. 2021. *Muntingia calabura* Leaves Mediated Green

- Synthesis of CuO Nanorods: Exploiting Phytochemicals for Unique Morphology. *Materials*, 14: 1-12.
- Setiabudi, A., Hardian, R. and Muzakir, A. 2012. Karakterisasi Material: Prinsip dan Aplikasinya dalam Penelitian Kimia. In *Upi Press* (Vol. 1).
- Setiawan, M. R. and Siregar, R. N. 2020. Kandungan Mineral dan Struktur Kristal Batu Sekis. (*SPEJ*) *Science and Physics Education Journal*, 4(1): 24–30.
- Simamora, P. and Krisna, K. 2015. Sintesis dan Karakterisasi Sifat Magnetik Komposit Fe₃O₄-Montmorilonit Berdasarkan Variasi Suhu. *Prosiding Seminar Nasional Fisika (e-journal)*, 4 : 1-5.
- Sudha, V., Murugadoss, G. and Thangamuthu, R. 2021. Structural And Morphological Tuning of Cu-Based Metal Oxide Nanoparticles by a Facile Chemical Method and Highly Electrochemical Sensing of Sulphite. *Scientific Reports*, 11(3413) : 1-12.
- Sukmawati, Nurnaningsih dan Pratama, M. 2020. Uji Aktivitas Ekstrak Etanol Daun Kersen (*Muntingia calabura* L.) Sebagai Inhibitor Enzim α -Glukosidase Dengan Menggunakan Elisa Reader. *Jurnal Fitofarmaka Indonesia*, 7(2): 1-5.
- Taib, S., & Suharyadi, E. 2015. Sintesis Nanopartikel Magnetike (Fe₃O₄) dengan Template Silika (SiO₂) dan Karakterisasi Sifat Kemagnetannya. *Indonesian Journal of Applied Physics*, 5(1): 23-30.
- Villegas, Victor & de Leon Ramirez, Jesus & Hernández-Guevara, Esteban & Sicaire, Sergio & Hurtado, Lilia & Sánchez, Bertha. 2019. Synthesis and Characterization of Magnetike Nanoparticles for Photocatalysis Nitrobenzene. *Journal of Saudi Chemical Society*, 24 : 223-235.
- Widiantini, N. L. P., Sibarani, J., & Manurung, M. 201. Studi Fotodegradasi Congo Red Menggunakan UV/ZnO/Reagen Fenton. *Jurnal Kimia*, 7(1), 82-90.
- Wulandari, I. O., Wardhani, S. dan Purwonugroho, D. 2014. Sintesis Karakterisasi Fotokatalis ZnO pada Zeolit. *Kimia Student Journal*, 1(2): 243- 247.
- Xu, L., Zheng, G., Pei, S. and Wang, J. 2018. Investigation of Optical Bandgap Variation and Photoluminescence Behavior in Nanocrystalline CuO Thin Films. *Optik*, 382-390.
- Zhu, H. Y., Jiang, R., Huang, S. H., Yao, J., Fu, F. Q., & Li, J. B. 2015. Novel Magnetic NiFe₂O₄/Multi-Walled Carbon Nanotubes Hybrids: Facile Synthesis, Characterization, and Application to the Treatment of Dyeing Wastewater. *Ceramics International*, 41(9): 11625-11631.